

ひずみ速度依存性に着目した鋼管矢板基礎の圧密沈下に関する検討

鋼管矢板 圧密沈下 有限要素法 阪神高速道路 正会員 出口直輝 正会員 藤井遥 国際会員 曾我恭匡
地域 地盤 環境 研究所 正会員 稲垣祐輔 正会員 谷珠美令 国際会員 譽田孝宏

1. はじめに

道路橋の基礎設計において、圧密沈下は道路橋示方書・同解説¹⁾では「圧密沈下の可能性を検討する際には、基礎部の直下の地盤調査を十分にに行い、圧密層の有無を確かめる必要がある」とされている。一方で、「臨海部の長大橋など規模による影響が大きい場合や圧密層の性状等が一般的でない場合には、（中略）圧密の影響を判断することは困難である。」との記述もある。このような場合、地盤調査を実施し、原位置の地盤条件を適切に反映した評価を行うことが求められる。さらに、本稿の対象基礎直下に位置する洪積粘性土はひずみ速度が遅くなるにつれて圧密降伏応力が小さくなることが知られている²⁾。

本稿では、洪積粘性土層を有する地盤に位置する鋼管矢板基礎を対象として、ひずみ速度の違いによる圧密挙動の差異について明らかにするため、ひずみ速度と過圧密比（以下、「OCR」という。）の関係をパラメトリックスタディにより変化させた場合の圧密による基礎の変位量を比較検討した。本検討では、地盤の傾斜を含む複雑な地盤条件と洪積粘性土層の粘性効果を表現するため、3次元弾粘塑性有限要素法（以下、「FEM 解析」という。）を用いた有効応力解析（土水連成解析）を実施した。その結果をもとに洪積粘性土層のひずみ速度依存性が鋼管矢板基礎の圧密沈下に与える影響について評価した。

2. 数値解析条件

本研究では、3次元弾塑性FEMプログラムPLAXIS 3D³⁾を用いて、過剰間隙水圧の消散による圧密を確認するため、土水連成の有効応力解析を実施した。

地盤の解析モデルおよび排水条件を図-1に示す。解析モデルは、高さ148m×幅235m×奥行235mの立方体とし、地盤および鋼管矢板基礎をソリッド要素で、地盤と鋼管矢板基礎間の相互作用（周面摩擦）をジョイント要素でモデル化した。

地盤材料パラメータは、対象とする鋼管矢板基礎の近傍のボーリング調査における室内土質試験結果に基づいて設定した。洪積粘性土層（Ma12層、Ma11層）のモデル化には、長期的な圧密沈下挙動の予測に適用事例が多い「関口・太田モデル（弾粘塑性）」⁴⁾を採用し、それ以外の土層については、即時沈下が卓越するため、線形弾性モデルを採用した。Ma11層は互層となっていることから、3層でモデル化を行った。その他材料パ

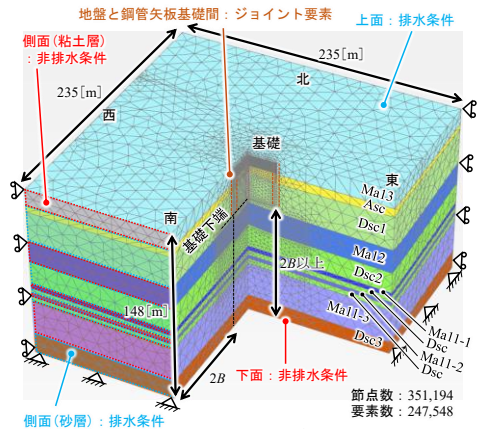


図-1 地盤モデル

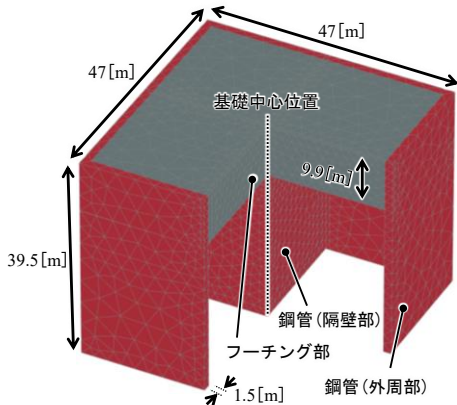


図-2 鋼管矢板基礎モデル

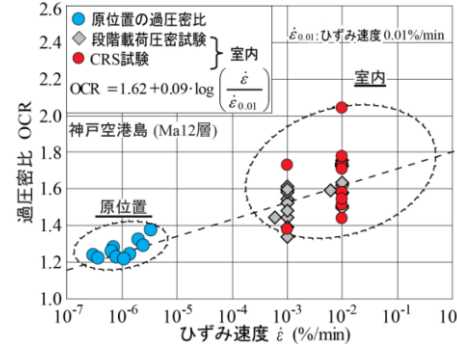


図-3 神戸空港におけるひずみ速度⁶⁾

表-1 地盤材料パラメータ

土層	基本情報							弾粘塑性材料パラメータ									
	平均N値	単位体積重量 γ_t [kN/m ³]	内部摩擦角 ϕ' [°]	粘着力 c [kN/m ²]	塑性指数 I_p	変形係数 E [kN/m ²]	ポアソン比 ν	透水係数 k [m/sec]	静止土圧係数 K_0	圧縮指数 λ	膨潤指数 κ	過圧密比 OCR	限界状態係数 M	初期間隙比 e_0	原位置の静止土圧係数 K_i	二次圧密指数 α	初期体積ひずみ速度 v_0 (1/min)
Ac	0	15.0	0.0	21.9	73.4	4606	0.33	4.0×10^{-9}	0.75	—	—	—	—	—	—	—	—
Asc	26	17.6	43.8	0.3	—	72800		1.9×10^{-7}	0.31	—	—	—	—	—	—	—	—
Dsc1	43	19.2	34.3	58.9	—	120400		7.8×10^{-6}	0.44	—	—	—	—	—	—	—	—
Ma12	15	16.6	28.0	—	62.3	—		3.5×10^{-10}	0.70	0.675	0.009	1.92	1.11	1.401	0.867	0.022	6.9×10^{-5}
Dsc2	75	20.5	38.9	—	—	210000		2.9×10^{-2}	0.37	—	—	—	—	—	—	—	—
Ma11-1	—	18.0	28.0	—	42.4	—		9.1×10^{-11}	0.62	0.321	0.009	1.87	1.11	1.106	0.785	0.006	1.0×10^{-5}
Dsc	—	20.5	—	—	—	210000		2.9×10^{-2}	0.37	—	—	—	—	—	—	—	—
Ma11-2	—	18.0	28.0	—	42.4	—		8.9×10^{-11}	0.62	0.321	0.009	1.70	1.11	1.106	0.757	0.006	1.0×10^{-5}
Dsc	—	20.5	—	—	—	210000		2.9×10^{-2}	0.37	—	—	—	—	—	—	—	—
Ma11-3	—	18.0	28.0	—	42.4	—		8.4×10^{-11}	0.62	0.321	0.009	1.29	1.11	1.106	0.682	0.006	1.0×10^{-5}
Dsc3	—	20.5	—	—	—	210000		2.9×10^{-2}	0.37	—	—	—	—	—	—	—	—

Study on consolidation settlement of steel pipe sheet pile foundations using 3D elastoplastic FEM

Naoki Deguchi, Haruka Fujii, Yasumasa Soga, Hanshin Expressway Company Limited
Takahiro Konda, Yusuke Inagaki, Sumire Tani, Geo-Research Institute

表-2 各ケースの過圧密比 *OCR* と解析結果一覧

検討ケース	鋼管矢板基礎					地盤	
	鉛直変位 (mm)	水平変位 (mm)		傾斜角 (×10 ⁻³ rad)		Ma12層圧縮量 (mm)	Ma11-3層圧縮量 (mm)
		東西方向	南北方向	東西方向	南北方向		
Case0 (参考: <i>OCR</i> =1.92)	-71.9	0.45	1.15	0.02	0.04	28.0	26.4
Case1 (<i>OCR</i> =1.4)	-122.6	-0.71	2.10	0.00	0.01	90.4	14.4
Case2 (<i>OCR</i> =1.2)	-324.3	-0.79	2.57	-0.04	0.14	265.8	36.2
【鉛直変位】+: 隆起, -: 沈下 【水平変位および傾斜(東西方向)】+: 西側, -: 東側 【水平変位および傾斜(南北方向)】+: 南側, -: 北側							

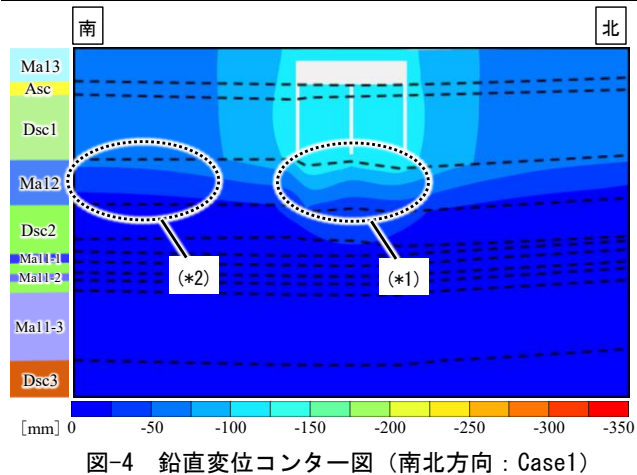


図-4 鉛直変位コンター図（南北方向：Case1）

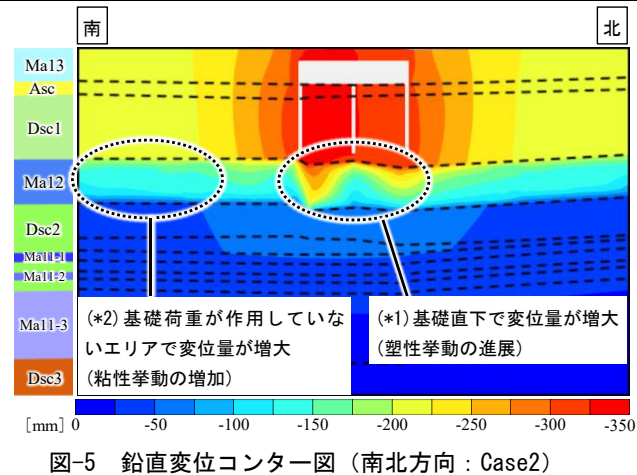


図-5 鉛直変位コンター図（南北方向：Case2）

ラメータは表-1 に示す。

鋼管矢板基礎の解析モデル図を図-2 に示す。鋼管矢板基礎は高さ 39.5 m×幅 47 m×奥行 47 m とし、鋼管は厚さ 1.5 m のソリッド要素、フーチング部（頂版と底版）は厚さ 9.9 m の剛体要素（鋼材剛性の 1000 倍の剛性でモデル化）でモデル化した。载荷ステップは実施工に合わせて設定し、活荷重载荷から 100 年後の挙動も確認する。

本検討では、ボーリング調査の室内試験結果をもとに土層ごとに算出された *OCR* を用いて沈下量を求めているが、本稿では文献 5)におけるひずみ速度：10⁻⁵~10⁻⁷ %/min を参考に、ひずみ速度が比較的速い（10⁻⁵ %/min）場合を Case1 とし、ひずみ速度が比較的遅い（10⁻⁷ %/min）場合を Case2 とした(図-3 参照)。ひずみ速度依存性はそれぞれのひずみ速度に応じた *OCR* として考慮し、原位置での調査を参考に Case1：1.4、Case2：1.2 として設定した。

3. 数値解析結果

鋼管矢板基礎および地盤変位一覧表を表-2 に、活荷重载荷から 100 年後における鉛直変位コンター図を図-4 および図-5 に示す。上部工荷重も含む载荷に伴う地盤内応力の増加により、基礎直下地盤を中心に鉛直変位が発生した。

Ma12 層では、*OCR* 1.4 の場合では粘性挙動が、*OCR* 1.2 の場合では粘性変形+塑性変形が生じたため、*OCR* が小さくなると変形量は大きくなった。また、*OCR* が小さくなると、Ma12 層の粘性挙動も増加する結果となった。これは、粘性挙動の発現条件に *OCR* が関係していることが示唆される。

しかし、鋼管矢板基礎の中心を原点とした傾斜角は微小なものであり、不同沈下の影響は小さかった。最も鉛直変位が大きい Case2 の-324.3 mm についてもこの基礎が支える橋梁を仮定し、算出された許容値以内に収まっていることを確認した。

4. おわりに

本検討では、ひずみ速度と *OCR* の関係をパラメトリックスタディにより変化させた 3 次元 FEM 解析を実施した。得られた知見を以下に示す。

(1) 沈下挙動の主たる要因は、Ma12 層および Ma11-3 層の圧縮挙動であった。しかし、*OCR* が小さくなると Ma12 層の圧縮挙動の占める割合が増加した。これは、*OCR* が小さくなるにつれて Ma12 層で粘性・塑性変形が顕著となったためと考えられる。

(2) 本検討結果として得られた鋼管矢板基礎の沈下量は、許容値以内であり、大きな不同沈下は見られなかった。

参考文献

1) 道路橋示方書・同解説IV下部構造編, (公社)日本道路協会, 2025.10. 2) 阿部ら：大阪湾東部地域における上部洪積粘土 (Ma12) の圧密特性, 応用地質年報 No.14, pp.15-29, 1992. 3) PLAXIS 3D Reference Manual, Bentley Systems, Inc., Delft, The Netherlands, 2020.4) Sekiguchi, H.: Rheological characteristics of clays, In Proceedings of the 9th ICSMFE, Tokyo, volume1, p.289-292, 1977. 5) 長谷川ら：神戸空港海底地盤における洪積粘土層の原位置圧密挙動, 土木学会論文集 C vol.62 No.4, 2006. 6) 河恩ら：神戸沖海底粘土の一次元圧密特性のひずみ速度依存性挙動における堆積年代の影響, 地盤工学ジャーナル Vol.12 No.2, pp.223-233, 2014.